

Министерство образования и науки РФ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК

536-2, 536-7, 62-714, 006-1

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

_____ Кружаев В.В.

«___» _____ 2013

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках выполнения п.2.1.2.1 Плана реализации мероприятий Программы
развития УрФУ на 2013 год

ПО ТЕМЕ:

Совершенствование методов повышения надежности и эффективности
энергетического теплообменного оборудования ТЭС на этапах проектирования,
изготовления и эксплуатации

(Заключительный)

Договор возмездного оказания услуг (выполнения работ, на создание
произведения) №2.1.2.1/2

Зав.кафедрой,
д.т.н, профессор

(подпись, дата)

Бродов Ю.М.

Научный руководитель
д.т.н, профессор

(подпись, дата)

Бродов Ю.М.

Исполнитель,
к.т.н.

(подпись, дата)

Брезгин Д.В.

Екатеринбург 2013

РЕФЕРАТ

1. ФИО автора (ов): *Брезгин Дмитрий Витальевич*
Brezgin Dmitry V.
2. Аннотация: *В данной работе приводится научное и техническое (инженерное) обоснование ряда методов повышения надежности и эффективности теплообменного оборудования паротурбинных установок ТЭС на различных этапах его жизненного цикла, что определено требованием международных стандартов ISO 9000.*
In this paper we present the scientific and technical (engineering) justification of a number of methods to improve the reliability and efficiency of steam turbine heat exchange equipment at different stages of its life cycle, as defined by the international standard ISO 9000.
3. Ключевые слова: *Модернизация, повышение эффективности, надежность, теплообменный аппарат, сертификация.*
Modernization, efficiency improving, reliability, heat exchanger, certification
4. Тема отчета: *Совершенствование методов повышения надежности и эффективности энергетического теплообменного оборудования ТЭС на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации.*
Enhancements for improving the reliability and efficiency of the TPS energy exchange equipment during the design, manufacture and operation

Объектом исследования являются энергетические кожухотрубные теплообменные аппараты ТЭС.

Целью работы является комплексное обоснование методов повышения надежности и эффективности теплообменного оборудования паротурбинных установок ТЭС на различных этапах его жизненного цикла, что определено требованием международных стандартов ISO 9000; реализация технических решений, прошедших апробацию в условиях ТЭС, разработка конкретных рекомендаций и технической документации.

Комплекс предложенных разработок соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ (производственные и энергосберегающие технологии), а также критическим технологиям РФ (производство электроэнергии и тепла на органическом топливе) из перечня, утвержденного президентом РФ 30.03.2002.

В данной работе приводится научное и техническое (инженерное) обоснование ряда методов повышения надежности и эффективности

теплообменного оборудования паротурбинных установок (ПТУ) ТЭС на различных этапах его жизненного цикла, что определено требованием международных стандартов ISO 9000.

В работе впервые разрабатывается и реализуется в промышленности комплекс следующих научных и инженерных задач применительно к теплообменному оборудованию ТЭС:

1. На этапе проектирования:

- разработана функциональная модель проектирования теплообменного оборудования ПТУ для формализации конструкторских процедур;
- на основе разработанных моделей обоснована методика проведения численных и лабораторных экспериментов для моделирования тепловых и гидродинамических процессов в теплообменном оборудовании. Разработаны методики расчетов аппаратов, защищенные свидетельствами РОСПАТЕНТА.

2. На этапе изготовления:

- разработаны, исследованы и внедрены на 15 энергопредприятиях Свердловской области (в том числе: СУГРЭС, Рефтинская ГРЭС, Новосвердловская ТЭЦ, Первоуральская ТЭЦ и др.) современные конструкторские решения, реализация которых привела к повышению эффективности и надежности работы теплообменного оборудования и к реальной экономии топлива на станциях. Выработаны рекомендации для инженерной практики

3. На этапе эксплуатационного обслуживания:

- усовершенствована система диагностирования теплообменного оборудования паротурбинной установки. Методами структурного анализа разработаны и внедрены в промышленности базы данных и знаний экспертной системы для диагностирования состояния ряда аппаратов паротурбинной установки. Разработанные программные комплексы защищены свидетельствами РОСПАТЕНТА.
- методами физического моделирования проведены исследования технологических мероприятий по совершенствованию эксплуатационного обслуживания теплообменного оборудования.

В целом полученные в работе новые научные и практические результаты:

1) Использованы при модернизации более 250 серийных теплообменных аппаратов и разработке серии нового оборудования для турбоустановок мощностью 6...800 МВт, работающего в Свердловской области и Ханты-Мансийского автономного округа.

2) Опубликованы в центральной печати: в том числе в виде научных статей – 23 шт, доклады авторов на международных, всероссийских и региональных научных и практических конференциях и семинарах – 12 шт.

3) Результаты работы вошли в учебное пособие «Теплообменники энергетических установок» (приложение к учебнику) для студентов, обучающихся по программе бакалавриата (магистратуры) по направлению 141100 — «Энергетическое машиностроение», профиль — «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели». Издание третье, дополненное. Выход данного учебного пособия намечен на декабрь 2013 года.

Содержание

РЕФЕРАТ	2
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	7
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	9
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

КСМ – комплексная система мониторинга и диагностики;

КУ – конденсационная установка;

ПВТ – профильная витая трубка;

ПТУ – паротурбинные установки;

ТУ – технические условия;

ТЭС – тепловые электрические станции;

ФМ – функциональная модель;

ЭС – экспертная система;

δ_1 – зазор между кольцевой перегородкой и корпусом;

δ_2 – зазор в отверстии перегородка-трубка;

$\delta_{ст}$ – толщина стенки трубки.

ВВЕДЕНИЕ

Задача непрерывного и надежного снабжения энергоносителями промышленных предприятий Свердловской области значительно, а в ряде случаев в определяющей степени зависит от эффективной и надежной работы теплообменного оборудования (конденсаторы, сетевые подогреватели, аппараты системы регенеративного подогрева питательной воды и др.) энергогенерирующих предприятий и ТЭС.

В современных условиях нецелесообразна простая замена отработавшего свой срок службы (ресурс) очень дорогостоящего теплообменного оборудования на серийное, морально устаревшее.

Новая стратегия энергосбережения, ужесточившиеся требования экологической безопасности требуют новых подходов к решению поставленной задачи – совершенствования теплообменного оборудования.

В данной работе приводится научное и техническое (инженерное) обоснование ряда методов повышения надежности и эффективности теплообменного оборудования паротурбинных установок (ПТУ) ТЭС на различных этапах его жизненного цикла, что определено требованием международных стандартов ISO 9000.

Комплекс выполненных разработок соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ (производственные и энергосберегающие технологии), а также критическим технологиям РФ (производство электроэнергии и тепла на органическом топливе) из перечня, утвержденного президентом РФ 30.03.2002.

В работе впервые разработан и реализован в промышленности комплекс следующих научных и инженерных задач применительно к теплообменному оборудованию ТЭС:

1. На этапе проектирования:

- разработана функциональная модель проектирования теплообменного оборудования ПТУ для формализации конструкторских процедур;
- на основе разработанных моделей обоснована методика проведения численных и лабораторных экспериментов для моделирования тепловых и гидродинамических процессов в

теплообменном оборудовании. Разработаны методики расчетов аппаратов, защищенные свидетельствами РОСПАТЕНТА.

2. На этапе изготовления:

- разработаны, исследованы и внедрены на 15 энергопредприятиях Свердловской области (в том числе: СУГРЭС, Рефтинская ГРЭС, Новосвердловская ТЭЦ, Первоуральская ТЭЦ и др.) современные конструкторские решения, реализация которых привела к повышению эффективности и надежности работы теплообменного оборудования и к реальной экономии топлива на станциях. Выработаны рекомендации для инженерной практики

3. На этапе эксплуатационного обслуживания и ремонта (модернизации):

- усовершенствована система диагностирования теплообменного оборудования паротурбинной установки. Методами структурного анализа разработаны и внедрены в промышленности базы данных и знаний экспертной системы для диагностирования состояния ряда аппаратов паротурбинной установки. Разработанные программные комплексы защищены свидетельствами РОСПАТЕНТА.

- методами физического моделирования проведены исследования технологических мероприятий по совершенствованию эксплуатационного обслуживания теплообменного оборудования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для совершенствования процесса проектирования теплообменного оборудования с учетом современных инженерных требований в работе разработана функциональная модель (ФМ) проектирования теплообменного оборудования ПТУ, позволившая формализовать проектные процедуры и определить взаимосвязи между ними. Для этого была выбрана и обоснована методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique).

Структурный подход базируется на последовательной декомпозиции задачи или проблемы. Сначала формулируется сама задача, определяется цель анализа и точка зрения, с которой рассматривается проблема. Затем определяются входы и выходы, представляющие собой входную информацию и результат, который необходимо получить. Указываются ограничения (управляющие воздействия), налагаемые на решаемую задачу, и механизмы, с помощью которых задачу можно решить. Таким образом, описывается контекстная диаграмма, которая декомпозируется на составные части. Затем осуществляется декомпозиция составных частей до необходимой (целесообразной) степени подробности, определяемой исходя из элементарности (простоты) получающихся объектов.

В методологии имеются средства для автоматизации разработки информационных систем по результатам проведенного анализа.

Контекстная диаграмма, созданная на начальном этапе разработки функциональной модели, разбивалась на 5 основных функций: *разработка технического задания; разработка технического предложения; эскизное проектирование; разработка технического проекта; оформление проектной документации*. Последующее разбиение производилось в соответствии с выполняемыми на каждом из этих этапов мероприятиями. В частности, для этапа «*Разработка технического проекта*» декомпозиция осуществлялась до пятого уровня глубины. Анализ технологии проектирования позволил выявить проектные процедуры, нуждающиеся в совершенствовании. Разработанная авторами ФМ позволила обосновать необходимость включения теплогидравлического поверочного расчета в контекст проектирования теплообменных аппаратов ПТУ, а также выявила необходимость дополнительных исследований и уточнения методики их расчета.

На рис. 1 в качестве примера представлена диаграмма «*Проведение поверочных расчетов и анализ результатов*» 4-ого уровня декомпозиции процедуры «*Разработка технического проекта*». Входными данными для функций этой диаграммы являлись геометрические характеристики теплообменного аппарата, полученные по результатам конструкторского расчета, и исходные данные, включающие в себя данные на разработку нового аппарата. Выходными данными для диаграммы **A42** (см. рис. 1) являлось заключение конструктора на этапе «*Анализ результатов расчетов*».

Рис. 1. Диаграмма А42: «*проведение поверочных расчетов и анализ результатов*»

влиянию внешней среды и т. д. Управляющее воздействие на диаграмме **A42** «Нормативные материалы» — это руководящие технические материалы, методики расчетов, справочники теплофизических свойств, правила технической эксплуатации, ограничения, накладываемые материально-техническим обеспечением и т. д.

Декомпозиция функции «Уточнение методики и проведение теплогидравлического расчета» диаграммы **A42** выполнена с целью формализации конструкторского подхода к проведению поверочного теплогидравлического расчета. В случае применения новых конструкторских решений, например с целью интенсификации теплообмена или в другой области задач проектирования теплообменного аппарата ПТУ, выполняются следующие задачи: «Анализ методики и определение возможных путей ее совершенствования», «Проведение дополнительных исследований в рамках поставленной задачи», «Обработка и анализ результатов дополнительных исследований», «Уточнение методики теплогидравлического расчета», «Проведение теплогидравлического расчета», представленные на диаграмме следующего уровня декомпозиции.

Описанный подход к проектированию теплообменного оборудования позволил значительно повысить качество, скорость и глубину анализа при проектировании нового теплообменного оборудования.

На основе разработанной функциональной модели проанализирован процесс проектирования теплообменного оборудования ПТУ ТЭС. Показана необходимость уточнения методики расчета теплообменных аппаратов с однофазным теплоносителем в части оценки гидродинамических характеристик конструкторско-технологического узла теплообменного аппарата «трубка – промежуточная перегородка», а также проведения лабораторных исследований для уточнения закономерностей гидродинамики и теплообмена в трубных пучках аппаратов с интенсифицирующими поверхностями теплообмена.

При проектировании современных конструкций нового теплообменного оборудования для анализа и обоснованного выбора различных научных и инженерных решений необходимы современные методики исследования, позволяющие численными методами, без проведения длительного и, как правило, затратного натурного эксперимента, определить целесообразность принятия этих решений.

Анализ различных конструкций серийных теплообменников ПТУ и методик их теплогидравлического расчета показал, что существующие обобщенные зависимости для определения коэффициентов гидравлического сопротивления в технологических околотрубных зазорах δ_2 (рис.2) не позволяют в полной мере учесть весь спектр геометрических характеристик этого узла во всем диапазоне режимов эксплуатации аппарата. В рамках настоящей работы разработана конечно-элементная модель для исследования проницаемости технологических зазоров δ_2 (см. рис. 2) численными методами, позволяющая учесть все особенности течения теплоносителя в гладкотрубном пучке и пучке из профильных витых трубок (ПВТ) теплообменных аппаратов ПТУ.

В работе приведены основные положения разработанной авторами методики проведения численного эксперимента и результаты численного моделирования процессов гидродинамики в межтрубном пространстве и в технологических зазорах δ_2 — «трубка - промежуточная перегородка» (рис. 2) теплообменных аппаратов ПТУ с пучками из современных перспективных поверхностей теплообмена – профильных витых трубок; приведены особенности уточненной позонной методики теплогидравлического расчета аппаратов; результаты комплексного исследования влияния геометрических характеристик элементов конструкции аппаратов на показатели их тепловой эффективности по уточненной позонной методике расчета.

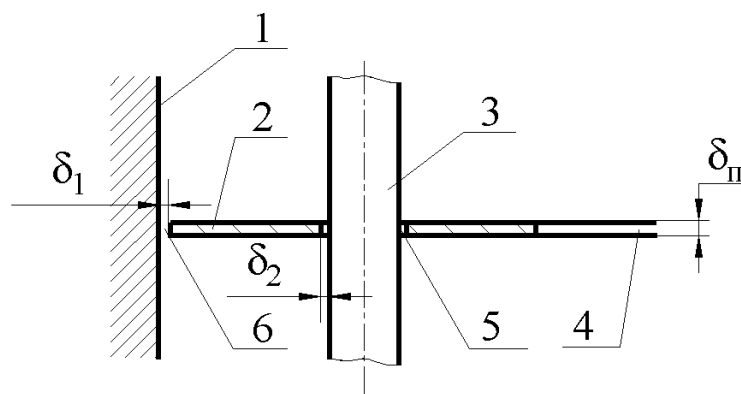


Рис. 2. Схема зазоров в зоне над кольцевой перегородкой теплообменного аппарата:
 1—корпус; 2—кольцевая перегородка; 3—трубка; 4—центральное отверстие в перегородке; 5—зазор в отверстии перегородка-трубка (δ_2); 6—зазор между кольцевой перегородкой и корпусом (δ_1).

Проведение численных экспериментов методами конечных элементов показало свою исключительную эффективность при исследовании процессов гидродинамики. За основу моделирования течений в межтрубном пространстве теплообменного оборудования принят подход, заключающийся в осреднении по

значениям чисел Рейнольдса уравнений Навье-Стокса, замкнутых с помощью дифференциальной **Realizable K-Epsilon** модели турбулентности, а также в разделении пристенного слоя на две условные подобласти. Целесообразно использовать «разделенный» математический алгоритм решения (**Segregated solver**) уравнений импульсов, энергии и корректировки давления, что обеспечивает удовлетворительную точность результатов расчета течения несжимаемых жидкостей при сравнительно невысоких требованиях к аппаратному обеспечению.

Проведенный на основе уточненной методики теплогидравлического расчета маслоохладителей комплекс расчетных исследований различных вариантов конструктивного исполнения аппаратов показал следующее:

- влияние повышения числа ходов по трубному пространству маслоохладителей на их тепловую эффективность незначительно. Целесообразно использование двухходовой схемы;
- влияние материала трубок теплообменного аппарата на общую тепловую эффективность аппарата незначительно, поэтому, руководствуясь соображениями надежности, предпочтительней использование трубок из нержавеющей стали;
- теплообменный аппарат с пучком из ПВТ в сравнении с гладкотрубным пучком имеет в зависимости от величины зазоров δ_2 (см. рис. 2) на 15...40 кПа более низкое гидравлическое сопротивление по межтрубному пространству и более низкую температуру горячего теплоносителя на выходе. Уменьшение гидравлического сопротивления по межтрубному пространству обусловлено большими проходными сечениями для горячего теплоносителя в среднем ряду пучка и большими его расходами на протечки в технологические зазоры δ_2 . Использование тонкостенных трубок ($\delta_{ст}=0,8$ мм) и двухходового по холодному теплоносителю исполнения снижает гидравлическое сопротивление маслоохладителя.

Для уточнения методик расчета и обоснования целесообразности применения различных конструкторских решений при разработке теплообменного оборудования ТЭС был реализован многофункциональный экспериментальный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис.3.

Стенд предназначен для исследования процессов гидродинамики и теплообмена в пучках труб, обтекаемых поперечным потоком жидкости (масло, вода).

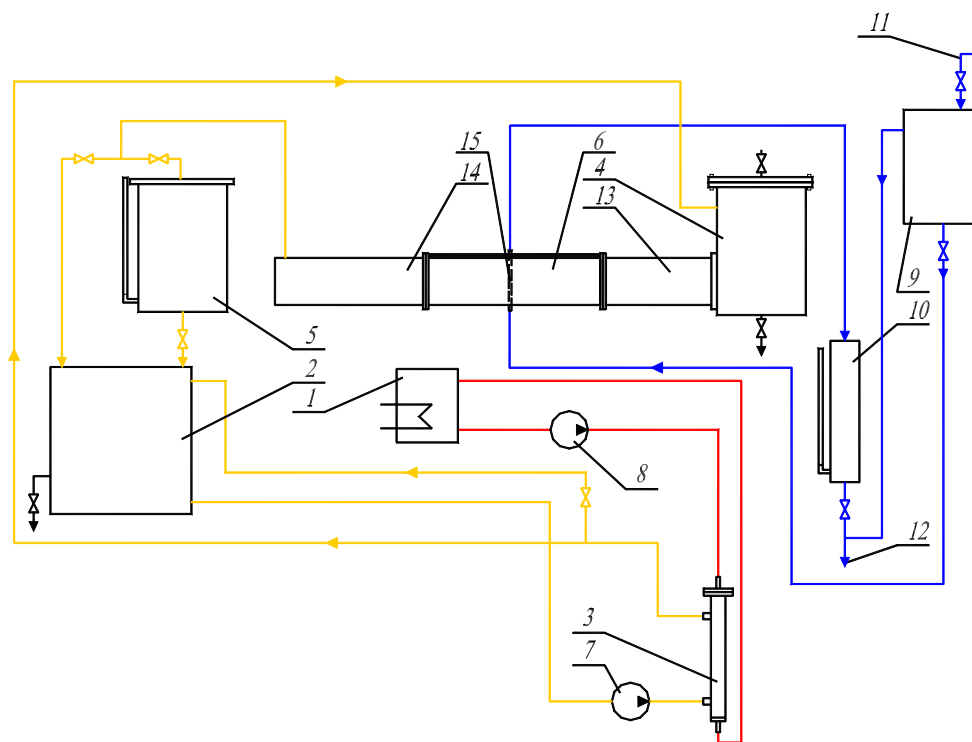


Рис.3. Принципиальная схема экспериментального стенда: 1 – термостат; 2 – основной бак; 3 – теплообменник; 4 – бак-ресивер; 5 – расходомерный бак; 6 – экспериментальный модуль; 7 – насос; 8 – центробежный насос; 9 – уравнивающий бак (охлаждающая вода); 10 – расходомерный бак (охлаждающая вода); 11 – подача охлаждающей воды; 12 – слив охлаждающей воды; 13 –участок стабилизации потока теплоносителя; 14 – выходной участок; 15 – рабочая трубка

Исследования проведены методом локального теплового моделирования. Основной элемент стенда – экспериментальный модуль – разработан и выполнен с учетом возможности проводить исследования на трубках всех типов размеров, материалов и конфигураций поверхности, применяемых в существующих аппаратах, работающих на ТЭС.

Схема измерений, реализованная на стенде, позволяет определять коэффициенты теплоотдачи с максимальной среднеквадратичной погрешностью не более 3,7%. Отклонение результатов численного эксперимента от результатов, полученных при исследованиях на стенде, не превышало 5%.

Кроме того, результаты исследований, проведенных на экспериментальном стенде, сопоставлялись с результатами численных экспериментов.

Сопоставление результатов тепловых и гидравлических расчетов, проведенных по уточненным авторами методикам с результатами промышленных испытаний теплообменных аппаратов, работающих на ряде ТЭС Уральского региона. Показано их хорошее согласование (отклонение не более

7%), что позволило сделать вывод о достоверности результатов лабораторных и расчетных исследований.

На основе анализа современных конструкций различных теплообменных аппаратов ПТУ ТЭС как в нашей стране, так и за рубежом при изготовлении в промышленности новых аппаратов с учетом современных повышенных требований к надежности и эффективности их работы авторами рекомендованы следующие инженерно-научные разработки, основные идеи которых прошли промышленную апробацию и защищены авторскими свидетельствами и патентами:

для повышения надежности:

- используются трубы из коррозионно-стойких материалов (нержавеющая сталь аустенитного, аустенитно-ферритного класса и др.);
- применяется новый способ закрепления трубок в трубных досках, позволяющий получить соединение повышенной герметичности (рис.4);

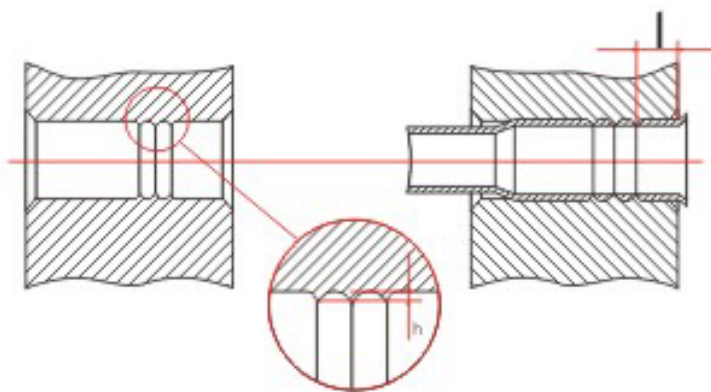


Рис.4. Эскиз перспективного способа закрепления трубок в трубных досках теплообменника с применением специальных рельефов.

- оптимизируется компоновка трубных систем и расстановка перегородок, выбирается оптимальная толщина промежуточных перегородок;
- проводится защита трубных досок аппаратов от коррозионного воздействия охлаждающей воды путем нанесения специальных покрытий;

для повышения эффективности:

- применены различно-профилированные трубы. В качестве примера на рис.5 приведен эскиз профильной витой трубы;
- оптимизируется компоновка трубной системы;
- использованы специальные уплотнительные элементы между промежуточными перегородками и корпусом для исключения холостых протечек теплоносителей (рис.6).



Рис.5. Эскиз профильной витой трубы

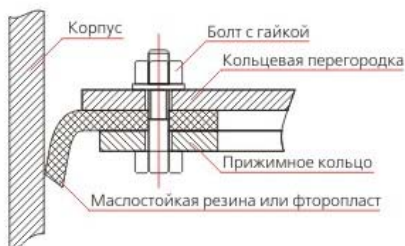


Рис.6. Специальные уплотнительные элементы между промежуточными перегородками и корпусом для исключения холостых протечек теплоносителей.

Изготовленное по разработкам авторов высоконадежное, эффективное теплообменное оборудование эксплуатируется в настоящее время на различных ТЭС Уральского региона.

На основе опыта реконструкции и модернизации более 250 теплообменных аппаратов различного назначения, успешно работающих на ТЭС Урало-Сибирского энергетического региона, с целью подготовки серийного выпуска в условиях завода-изготовителя, авторами разработаны технические условия на новые, отвечающие всем современным отраслевым и общетехническим требованиям технические условия «Аппараты теплообменные кожухотрубные энергетические» (ТУ). Эти технические условия распространяется на теплообменные аппараты (теплообменники), предназначенные для работы в составе паротурбинных установок ТЭС, охлаждения, нагрева, конденсации или испарения одного из теплоносителей, поступающих в теплообменник; устанавливают основные технические требования к конструкции, материалам, качеству изготовления, методам испытаний, приемке и поставке теплообменников.

Технические условия разработаны для энергомашиностроительного производства и включают в себя следующие типы теплообменников:

- с неподвижными трубными досками (с жестким кожухом и жестко закрепленными трубными досками) - МО-2М, МХ-4М, МХ-5М, МО-5М, МО-10М, МО-11М, МО-12М, МО-20М, М-21М, МБ-25М-37, МБ-30-40, МП-37М,

МБ-40М-60, МБ-50М-75, МО-53М, МБ-63М-90, МБ-90М-135, МБ-125-165, МБ-190М-250, МБ-270-330, МТ-26М, МТ-34М, МТ-45М, ОВ-140М, ОВ-700М, ЭУ-8М, ЭУ-16М, ЭП-3-2М, ЭП-3М-25, ЭП-3М-50, F-500М;

- с плавающей водяной камерой (с жестким корпусом и одной жесткозакрепленной трубной доской) - МОВ-10М, МОУ-12М, МОВ-30, ПСВ-90М-7-15, ПСВ-125М-7-15, ПСВ-200М-7-15, ПСВ-350М-7-15, ПСВ-500М-14-23, ТВК-17М, ТОС-30М, ТВК-39М, ВВТ-100М;

- с U-образными теплообменными трубками - ПН-67М-16-7, ПН-130М-16-7, ПН-200М-16-7, ПН-250М-16-7, ПН-300М-16-7, ПН-350М-16-7, ПН-400М-16-7, ПС-220М, ОВП-24, ОДП-24.

Конструктивно теплообменники состоят из следующих основных частей:

- корпус с патрубками для входа и выхода теплоносителей;
- трубная система с трубными досками и промежуточными перегородками;
- камера водяная распределительная с патрубками входа, выхода теплоносителя;
- камера водяная поворотная,
- опоры для установки теплообменника.

Из представленного перечня оборудования видно, что данный комплекс теплообменных аппаратов охватывает практически все основные технологические системы ТЭС и может быть рассмотрен как альтернатива серийным, отработавшим свой ресурс теплообменникам: маслоохладителям, подогревателям сетевой воды, холодильникам эжекторов, другим различным водо-водяным и пароводяным подогревателям и охладителям, работающим в составе ТЭС.

В конструкциях представленных в ТУ теплообменников использованы разработанные авторами современные технические решения и разработки:

- современные коррозионно-стойкие материалы трубных систем и элементов корпуса (водяных камер);
- высокоэффективные профилированные трубки из различных материалов;
- рациональная компоновка трубных пучков аппаратов, позволяющая максимально использовать поверхность теплообмена в габаритах корпусов серийных аппаратов;

- оптимизирована система расстановки промежуточных перегородок на основе уникальных авторских расчетов, обеспечивающих высокую вибрационную надежность трубных систем аппаратов;

- применен высокоэффективный способ крепления трубок в трубных досках за счет кольцевых рельефов, сформированных из металла трубной доски (описание см. выше);

- эффективное уплотнение зазоров между промежуточными перегородками и корпусом (для теплообменников жидкость–жидкость, описание см. выше);

- специальные защитные покрытия.

На представленную серию теплообменного оборудования разработан и реализован единый технологический процесс по изготовлению как элементов теплообменных аппаратов (например, трубных систем), так и всего аппарата в сборе. Технологический процесс по изготовлению новой серии теплообменного оборудования разрабатывался с учетом всех требований [2] и [3,4], поскольку ряд теплообменников, изготавливаемых по ТУ, являются сосудами, подведомственными Ростехнадзору РФ и подлежащими обязательному получению разрешения на применение. Кроме того, разработана и реализована универсальная система контроля качества технологического процесса изготовления данных теплообменников.

В данной работе приведены результаты исследований, связанных с повышением уровня эксплуатации как нового (выше описанного) теплообменного оборудования, так и работавшего длительное время на ТЭС.

Одним из эффективных путей повышения уровня эксплуатационного обслуживания теплообменного оборудования является разработка, реализация и совершенствование систем технической диагностики.

Концепция усовершенствованной авторами комплексной системы мониторинга и диагностики (КСМ) состояния оборудования ТЭС имеет несколько уровней: сбор исходных данных, использование расчетно-диагностических процедур, оценка параметров состояния, оценка комплексных показателей, отображение параметров состояния.

Диагностика рассматривается как одна из процедур КСМ, предназначенная для определения нарушений в работе оборудования. В работе показано, что диагностические процедуры универсальны, их можно

использовать для разработки диагностических модулей различных элементов ТЭС.

В работе разработан универсальный алгоритм экспертной системы (ЭС) вероятностного типа, основанной на нечеткой логике для диагностики неисправностей ряда теплообменного оборудования ТЭС в различных условиях эксплуатации.

На основе анализа более 50 литературных источников был сформирован предварительный список гипотез неисправностей всех систем конденсационной установки – одной из важнейших систем паротурбинной установки.

Предварительный список гипотез неисправностей был подвергнут экспертизе высококвалифицированными экспертами, специалистами в данной предметной области. С учетом предложений и замечаний экспертов был сформирован окончательный список гипотез неисправностей, который заложен в разработанную базу знаний экспертной системы.

Формирование списка свидетельств неисправностей произведено в соответствии с разработанным алгоритмом построения базы данных ЭС: проведен анализ схемы измерений КУ, на основании которого составлен список измеряемых величин, характеризующих работу КУ; проведен анализ показателей работы КУ; получена оценка нормативных значений показателей работы КУ. На основании этого сформирована база данных ЭС. Список свидетельств неисправностей КУ, так же как и список гипотез неисправностей, был подвергнут экспертному анализу и откорректирован.

Разработанные база знаний и база данных ЭС включают в себя более девяносто гипотез и свидетельств, используемых для диагностики состояния КУ любой паровой турбины.

Реализация функциональной модели проектирования теплообменного оборудования ПТУ позволила проанализировать существующие принципы проектирования теплообменников, методики расчета аппаратов, технологию их производства, требования эксплуатационного персонала ТЭС к работе оборудования. На рис.7 приведена диаграмма «проведение поверочных расчетов и анализ результатов» - часть функциональной модели, построенной с использованием вышеописанной методологии структурного анализа SADT.

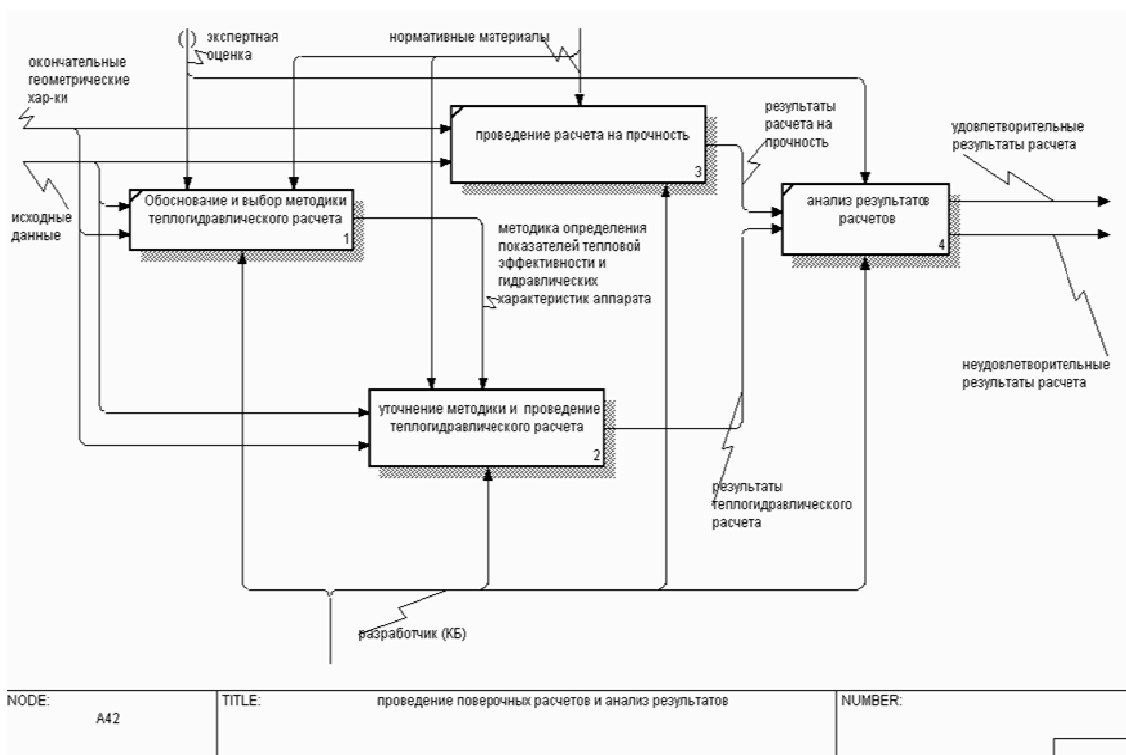


Рис.7. Диаграмма «проведение расчетов и анализ результатов»

Анализ существующих подходов к изготовлению аппаратов позволил сформировать ряд научных и инженерных задач, решение которых позволило оптимизировать эксплуатацию ПТУ с учетом всех современных требований, что, в конечном счете, позволило существенно повысить как надежность работы теплообменного оборудования, так и его тепловую эффективность.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность работы энергетического теплообменного оборудования, является поддержание чистоты поверхностей нагрева аппаратов. Решая задачу повышения эффективности работы теплообменных аппаратов было проведено исследование методов и технологий поддержания чистоты поверхностей нагрева аппаратов. Авторами разработана и реализована экспериментальная установка со схемой измерений, обеспечивающей измерения всех параметров, характеризующих процесс очистки.

Исследования были проведены во всем диапазоне изменения основных параметров теплообменного аппарата. Анализ полученных результатов показал, что с помощью предлагаемой технологии очистки возможно удаление от 10 до 75 % имеющихся на трубке отложений.

Проведенное исследование позволило авторам сформулировать для ТЭС рекомендации по методике и параметрам процесса проведения очисток

теплообменного оборудования, что позволило прогнозировать эффективность проведения термических очисток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом полученные в работе новые научные и практические результаты:

1) Использованы при модернизации более 250 серийных теплообменных аппаратов и разработке серии нового оборудования для турбоустановок мощностью 6...800 МВт, работающего в Свердловской области и Ханты-Мансийского автономного округа.

2) Опубликованы в центральной печати: в том числе в виде научных статей – 23 шт, доклады авторов на международных, всероссийских и региональных научных и практических конференциях и семинарах – 12 шт.

Результаты заключительного этапа работы вошли в следующие печатные издания:

- Современные технологии информационной поддержки теплофикационных паротурбинных установок на этапах проектирования и эксплуатации (Теплоэнергетика, №8, 2013).

- Modern Technologies for Rendering Information Support to Cogeneration Steam Turbine Units in Their Design and Operation Stages (Thermal Engineering, 2013, Vol.60, No.8)

3) Кроме того результаты работы вошли в учебное пособие «Теплообменники энергетических установок» (приложение к учебнику) для студентов, обучающихся по программе бакалавриата (магистратуры) по направлению 141100 — «Энергетическое машиностроение», профиль — «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели». Издание третье, дополненное. Выход данного учебного пособия намечен на декабрь 2013 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Применение CALS-технологий при производстве теплообменного оборудования паротурбинных установок / В.И. Брезгин, В.К. Купцов, Д.В. Брезгин // «Актуальные проблемы в современной энергетике». Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ—УПИ, 2002. С. 28—31.
2. Информационная поддержка жизненного цикла энергетической турбоустановки / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин, А.А. Чубаров // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM 2003). Материалы 3-ой международной конференции CAD/CAM/PDM 2003. М. :Институт проблем управления РАН, 2003. с.256-269.
3. Интеграция данных о маслоохладителях в рамках концепции непрерывной информационной поддержки жизненного цикла турбинного оборудования / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин // Совершенствование теплотехнического оборудования ТЭС, внедрение систем сервисного обслуживания, диагностирования и ремонта. Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ—УПИ, 2004. с. 270—280.
4. Стратегия развития энергомашиностроения на примере турбинного завода / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин, Ю.М. Бродов // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе. Материалы XXII Международной конференции. Ялта—Гурзуф, 2005, 20—30 мая. С. 39—40.
5. Модель непрерывной информационной поддержки жизненного цикла паротурбинных установок тепловых электростанций / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин, А.А. Чубаров // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM 2005). Материалы 5-ой Международной конференции CAD/CAM/PDM 2005. М. :Институт проблем управления РАН, 2005. С. 52—53.
6. Совершенствование методов проектирования и технологии производства турбин и турбинного оборудования / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин, К.Е. Мерзляков, Поляева Е.Н. // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM 2007).

Материалы 7-ой Международной конференции CAD/CAM/PDM 2007. М. : Институт проблем управления РАН, 2007. С. 112—115.

7. Совершенствование методов проектирования турбин и турбинного оборудования с использованием новых информационных технологий / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин, Ю.М. Бродов, К.Е. Мерзляков // Совершенствование теплотехнического оборудования, реконструкция ТЭС, внедрение систем сервиса, диагностирования и ремонта. Материалы 5-ой международной научно-практической конференции. 2007, 28—30 марта. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ—УПИ, 2008. С. 272—281.

8. Совершенствование расчетной подсистемы при проектировании МО энергетических паровых турбин / В.И. Брезгин, Д.В. Брезгин, Ю.М. Бродов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM 2008). Материалы 8-ой Международной конференции CAD/CAM/PDM 2008. М. : Институт проблем управления РАН, 2008. С. 143—147.

9. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2003612363 РФ. Теплогидравлический расчет маслоохладителей: программный комплекс / К.Э. Аронсон, Ю.М. Бродов, М.А. Ниренштейн, А.Ю. Рябчиков, Д.В. Брезгин, Г.А. Локалов (Россия). № 2003611885; заявл. 01.09.2003 // Официальный бюллетень Российского агентства по патентам и товарным знакам «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топология интегральных микросхем». 2004. № 1(46). С. 29.

10. Экспериментальное исследование теплообмена при обтекании вязкой жидкостью пучков гладких и профилированных трубок применительно к маслоохладителям турбоустановок / Ю.М.Бродов, К.Э.Аронсон, А.Ю.Рябчиков, Г.А.Локалов // Теплоэнергетика. 2008. № 3. С. 13-17.

11. Разработка и обобщение опыта модернизации теплообменных аппаратов с U-образными трубками в схемах ТУ / А.Ю.Рябчиков, К.Э.Аронсон, С.Н.Блинков, Г.Д.Бухман, Г.А.Локалов // Сборник Всероссийской ежегодной научно-технической конференции. Киров: ВятГТУ. 2001. Т. 3. С.33.

12. Разработка и реализация современных методов модернизации теплообменных аппаратов турбоустановок / А.Ю.Рябчиков,

Ю.М.Бродов, С.Н.Блинков, Г.А.Локалов, Г.Д.Бухман // Совершенствование установок методами математического и физического моделирования: сборник научных трудов. Харьков: ИПМаш НАН Украины. 2003. Т. 2. С. 463—466.

13. Модернизация маслоохладителей паротурбинных установок. Применение оребренных трубок / Ю.М.Бродов, Г.А.Локалов // Научные труды V отчетной конференции молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ: Сборник статей. В 2 ч. Екатеринбург. 2003. С. 262 .

14. Разработка программы расчета теплогидравлических характеристик маслоохладителей турбин мощностью 300 и 800 МВт / Ю.М.Бродов, Г.А.Локалов // Вестник Уральского государственного университета – УПИ. Специальный выпуск. Екатеринбург 2004. С. 186.

15. Разработка и реализация методов повышения эффективности и надежности маслоохладителей турбоустановок / А.Ю.Рябчиков, Ю.М.Бродов, К.Э.Аронсон, Г.А.Локалов // Газотурбинные и комбинированные установки и двигатели: XII Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция 24-26 ноября. М.: МГТУ. 2004. С. 132—134.

16. Исследование эффективности поверхностей теплообмена из оребренных труб при поперечном обтекании маслом / Ю.М.Бродов, А.Ю.Рябчиков, Г.А.Локалов // XV Школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И.Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» Калуга. 2005. С. 165-167.

17. Применение поверхностей теплообмена из оребренных труб для повышения эффективности маслоохладителей паротурбинных установок / Ю.М.Бродов, Г.А.Локалов // Научные труды X отчетной конференции молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ: Сборник статей. Ч2. Екатеринбург. 2006. С. 307-310.

18. Совершенствование кожухотрубных водо-водяных теплообменных аппаратов ТЭС / Рябчиков А.Ю., Бродов Ю.М., Хае С.И., Аронсон К.Э., Купцов В.К. / Международная научно-техническая конференция «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования». 19-22 сентября 2006г. Харьков. С.68-71.

19. Модернизация водо-водяных кожухотрубных теплообменных аппаратов ТЭС / Рябчиков А.Ю., Бродов Ю.М., Хае́т С.И., Аро́нсон К.Э., Ку́пцов В.К. / Пятая Балтийская конференция по теплообмену (5th ВНТС). 19-21 сентября 2007г. Санкт-Петербург. С.178-182.
20. Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов / Аро́нсон К.Э., Бли́нков С.Н., Бре́згин В.И., Хае́т С.И. и др.; под общ. ред. Бро́дова Ю.М. Екатеринбу́рг: ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ. 2008. 987 с.
21. Опыт модернизации кожухотрубных водо-водяных теплообменных аппаратов ТЭС / Рябчиков А.Ю., Бродов Ю.М., Аро́нсон К.Э., Ку́пцов В.К., Бли́нков С.Н., Хае́т С.И./ Энергетические машины и установки. №1, 2008, С.20-26.
22. Опыт совершенствования теплообменных аппаратов на ТЭС / Рябчиков А.Ю., Бродов Ю.М., Аро́нсон К.Э., Хае́т С.И., Бли́нков С.Н., Ку́пцов В.К., Лока́лов Г.А. / Совершенствование тепломеханического оборудования, реконструкция ТЭС, внедрение систем сервиса, диагностирования и ремонта: материалы 5 международной научно-практической конференции. Екатеринбу́рг: УГТУ-УПИ, 2008. С.260-271.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Публикации по работе